

DER WERT DER RÖNTGENKINEMATO-
GRAPHIE BEIM STUDIUM VON HERZ-
RANDBEWEGUNGEN (CINEKYMGRAPHIE)

Rolf Dieter Nern

1966

Aus der Klinik für Strahlentherapie und Nuklearmedizin der
Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main

DER WERT DER RÖNTGENKINEMATOGRAFIE BEIM STUDIUM
VON HERZRANDBEWEGUNGEN (CINEKYMGRAPHIE)

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der gesamten Medizin
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Johann Wolfgang Goethe-Universität
zu Frankfurt a. M.

vorgelegt von
Rolf Dieter Nern
aus Groß-Felda/Oberhessen

Frankfurt am Main 1967

Dekan : Professor Dr. O. Käser

Referent : Professor Dr. J. Lissner

Korreferent : Professor Dr. F. Strnad

Mündliche Prüfung : 25. November 1966



Herrn Professor Dr. med. J. Lissner möchte ich
meinen herzlichen Dank aussprechen für die
Überlassung des Themas und für die Unter-
stützung bei der Fertigstellung der Arbeit.

Danken möchte ich weiterhin der Firma Siemens-
Reiniger Werke AG, Erlangen, insbesondere den
Herren Goering und Balfanz, für ihre Hilfe bei
der technischen Durchführung, sowie Herrn
Dr. K. Breddin für die Überweisung seiner
Patienten.



Digitized by the Internet Archive
in 2026

1.	Einführung	7
1.1.	Geschichtliche Entwicklung der Technik und Charakterisierung der bisherigen Methoden zum röntgenologischen Studium der Herzrandbewegungen	7
1.1.1.	Röntgenkinematographie	7
1.1.2.	Röntgenkymographie	12
1.1.3.	Elektrokymographie	14
1.2.	Begründung des eigenen methodischen Vorgehens	17
1.2.1.	Vorteile der Röntgenkinematographie gegenüber der Röntgenmomentaufnahme	17
1.2.2.	Vorteile der Röntgenkinematographie gegenüber dem Leuchtschriftbild bei der Röntgendurchleuchtung	18
1.2.3.	Vorteile der Röntgenkinematographie bei der Auswertung der erhaltenen Information	18
1.2.4.	Die eigene Fragestellung	20
2.	Hauptteil	21
2.1.	Technische Gegebenheiten der eigenen Methode	21
2.1.1.	Aufnahmegeräte	21
2.1.1.1.	Röntgenerators	22
2.1.1.2.	Röntgenstrahler	23
2.1.1.3.	Untersuchungsgerät	23
2.1.1.4.	Röntgenbildverstärker	23

2.1.1.5.	Röntgenfernseheinrichtung	24
2.1.1.6.	Filmkamera	24
2.1.1.7.	Kinofilm	24
2.1.1.8.	Elektrokardiograph	25
2.1.1.9.	Impulsgenerator	25
2.1.2.	Auswertegeräte	25
2.1.2.1.	Projektor	26
2.1.2.2.	Empfänger	27
2.1.2.3.	Schreiber	27
2.2.	Untersuchungen und Ergebnisse	28
2.2.1.	Praktische Durchführung der Untersuchung	28
2.2.2.	Untersuchungsergebnisse	29
2.3.	Diskussion der technischen Gegebenheiten der Methode und der erhaltenen Ergebnisse	34
3.	Zusammenfassung	38
4.	Literaturverzeichnis	39

1. Einführung

1.1. Geschichtliche Entwicklung der Technik und Charakterisierung der bisherigen Methoden zum röntgenologischen Studium der Herzrandbewegungen

Zum röntgenologischen Studium von Bewegungsvorgängen, besonders von Bewegungen der Konturen innerer Organe und hier vor allem von Herzrandbewegungen, sind - abgesehen von der Röntgendurchleuchtung - drei sich voneinander unterscheidenden Methoden entwickelt worden :

- 1.1.1. Röntgenkinematographie
- 1.1.2. Röntgenkymographie
- 1.1.3. Elektrokymographie

Zu 1.1.1. (Röntgenkinematographie) :

1896 führte Mac Intyre einen röntgenkinematographischen Bilderstreifen vor, der aus Einzelaufnahmen verschiedener Stellungen eines Froschschenkels bestand, die so aneinandergereiht waren, daß ein Bewegungseindruck vermittelt wurde; Mac Intyre plante außerdem, kinematographische Aufnahmen von Röntgenleuchtschirmbildern zu machen (JANKER 1933 (54)).

Die technischen Voraussetzungen, vom Leuchtschirm zu filmen, fehlten zunächst; Versuche (LOMON und COMANDON 1911 (66)) führten nicht zu brauchbaren Ergebnissen. Vor dem ersten Weltkrieg gab es noch keine eigentliche Röntgenkinematographie - mit Bildfrequenzen von mindestens 16/sec -; es gab nur aus einzelnen Röntgendirektaufnahmen nachträglich zusammengesetzte Filme und Röntgenserienaufnahmen (gewöhnlich mit einer Bildfrequenz von 1/sec), die ebenfalls im Direktverfahren, d. h. durch unmittelbare Einwirkung der Röntgenstrahlen auf den Röntgenfilm, hergestellt worden waren, (DESSAUER 1937 (17) : ROUX und BALTHAZARD 1898, CAVALLO 1901, EIJKMAN 1903, KÖHLER 1907, KÖSTLE, RIEDER, ROSENTHAL 1909, GROEDEL 1909 und 1913).

Auch später wurden die angestrebten Bildfrequenzen mit dieser Methode der direkten Röntgenkinematographie nicht erreicht. 1926 gelang

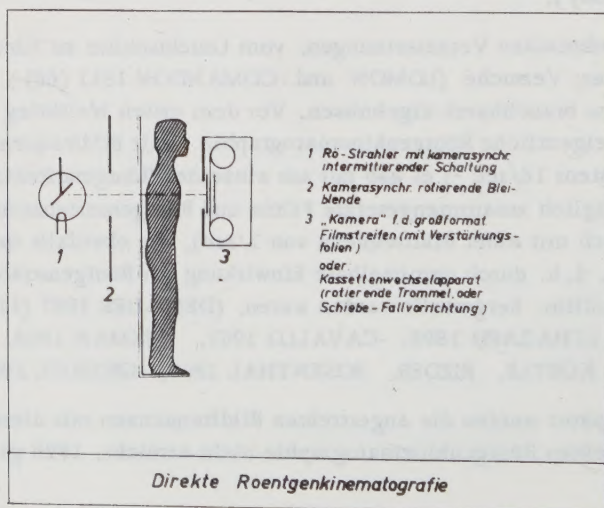
CHAMBERLAIN (CHAMBERLAIN 1926 (11)) mit der von RUGGLES (RUGGLES 1925 (78)) angegebenen Apparatur eine Bildfrequenz von 15/sec. Mit einem ähnlichen Gerät hatte GROEDEL bereits 1913 (GROEDEL 1913 (24)) eine Bildfrequenz von 10/sec erreicht. 1931 benutzte JANKER (JANKER 1931 (53)) ein Filmformat der Größe 24 mal 36 Millimeter; damit gelangen ihm zwar Bildfrequenzen von 16/sec und mehr, aber das Format beschränkte die Anwendungsmöglichkeiten erheblich (Filme von kleinen Versuchstieren).

Die Nachteile der Methode (REYNOLDS (76) 1928, JANKER 1937 (55)) nämlich :

- 1) Es fehlt hier die Möglichkeit, den zu filmenden Gegenstand verkleinert abzubilden; daher muß das Filmformat der Größe des aufzunehmenden Objektes entsprechen.
- b) Wegen des großen Formates besteht in der Praxis die Schwierigkeit, den Film genügend schnell zu transportieren, woraus sich die Begrenzung der Bildfrequenz ergibt.
- c) Das Verfahren ist wegen des Filmformates und der aufwendigen Geräte mit einem hohen Kostenaufwand verbunden.

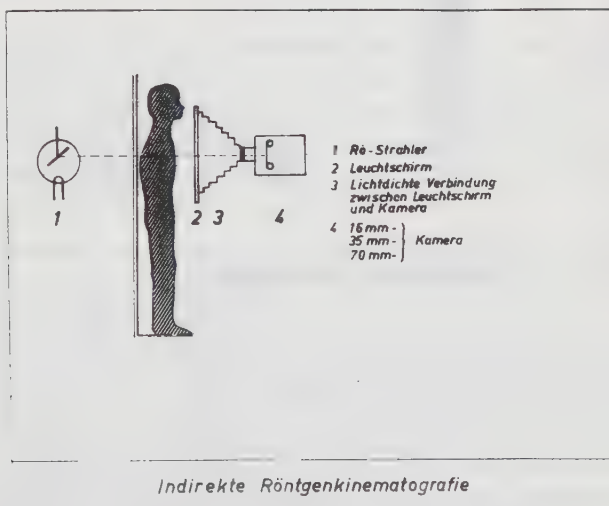
überwiegen den Vorteil, die hohe Bildqualität, bei weitem.

Auf dem 28. Kongreß der Deutschen Röntgengesellschaft 1937 wurden zwar noch Apparate für direkte Röntgenkinematographie und damit hergestellte Filme gezeigt (Van de MAELE 1937 (70)). Es handelte sich dabei aber eigentlich um Serienaufnahmegeräte für Kassetten (17 mal 17 Zentimeter) oder Rollfilme entsprechenden Formates, die Bildfrequenzen



zen von 7-8/sec erlaubten; durch Verdoppelung oder Verdreifachung der Bilder beim Kopieren wurde die angestrebte Bildfrequenz von 16/sec erreicht. Damit ließ sich die Dynamik eines schnell ablaufenden Bewegungsvorganges z.B. der Herzaktion nicht aufzeichnen.

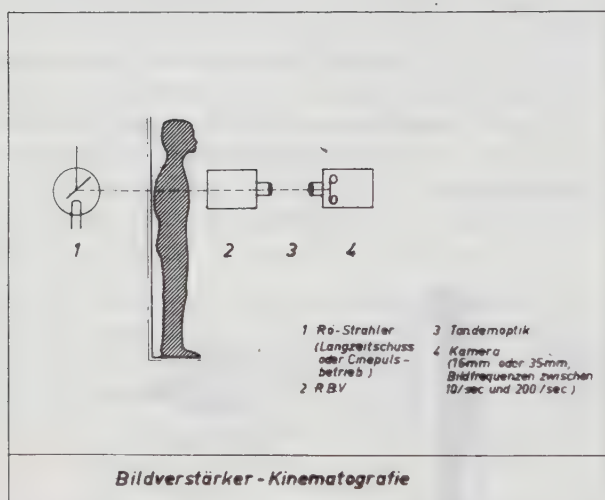
Auf dem gleichen Kongreß zeigte JANKER (Janker 1937 (55)), der sich seit 1926 mit der Röntgenkinematographie befaßte, Filme, die er mit der Methode der *i n d i r e k t e n* Röntgenkinematographie (d.h. die Röntgenstrahlen wirken nicht direkt auf den Film ein, sondern es wird das auf dem Leuchtschirm entworfene Bild photographisch registriert) hergestellt hatte. Das Verfahren war möglich geworden vor allem durch Verbesserungen auf röntgenapparativer Seite (intermittierende Röhrenschaltung, höhere Belastbarkeit der Röntgenröhre), auf optischem Gebiet (Lichtstärke der Kameraoptik) und auf filmtechnischem Gebiet (Erhöhung und Anpassung der Filmsensibilität an den Spektralbereich des Leuchtschrimbildes, bessere Filmentwicklung, Verkürzung der Filmtransportzeit) (JANKER 1960 (59)). Es wurden Bildfrequenzen von 25/sec, 50/sec, ja 100/sec erreicht.



Erste Ergebnisse mit der indirekten Methode hatten LOMON und COMANDON 1924 (LOMON und COMANDON 1924 (67)) erzielt; sie konnten einen Film über Herzbewegungen vorführen, der 3 Sekunden dauerte, aber durch mehrfache Kopierung als geschlossenes Filmband ausreichend lang projiziert werden konnte (Bildfrequenz 16/sec). REYNOLDS gelangen 1935 Herzfilme, die 16 Sekunden dauerten bei einer Bildfrequenz von 60/sec mit einer seit 1925 ständig verbesserten Apparatur (REYNOLDS 1928 (76) und 1935 (77)).

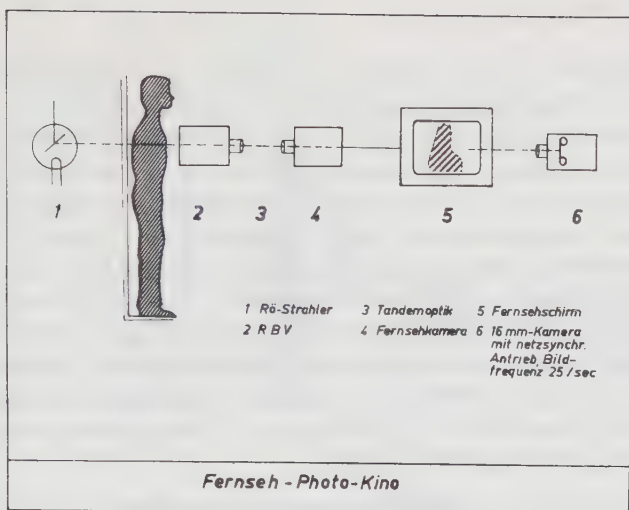
Nach dem 2. Weltkrieg wurden technisch einwandfreie Einrichtungen für indirekte Röntgenkinematographie geschaffen (JANKER 1950 (56), 1954 (57), 1954 (58); BISCHOFF 1952 (3)). Zwei Mängel des Verfahrens ließen sich jedoch nicht überwinden und verhinderten den routinemäßigen Einsatz in der Klinik (GAJEWSKI 1962 (21)) :

- a) Die begrenzte Belastbarkeit der Röntgenröhre gestattete gewöhnlich nur Filmszenen von etwa 12 Sekunden Dauer.
- b) Die Strahlenbelastung des Patienten lag hierbei durchschnittlich bei einer Oberflächendosis von 100 R.



Den entscheidenden Fortschritt brachte die elektronische Röntgenbildverstärkung in den Jahren 1948 bis 1952 (COLTMAN 1948 (15), MORGAN, ROACH 1949 (72), FENNER, GABBERT, ZIMMER 1952 (20)). Die Dosisleistungen bei der Röntgenkinematographie vom Ausgangsbild des Röntgenbildverstärkers konnten bis in die Dimension des Quantenrauschens (10 Mikro-Röntgen pro Bild) verringert werden (HOLM 1962 (50)).

Auch die Anwendbarkeit des Fernsehverfahrens für die röntgenologische Bildwiedergabe wurde durch die Einführung des Röntgenbildverstärkers gefördert (BISCHOFF 1961 (4), ZIMMER 1962 (90), BIRKEN 1964 (2)).



Die Kinematographie des Röntgenfernsehbildes ermöglicht eine weitere Dosiseinsparung um den Faktor 3 bis 4 gegenüber der Bildverstärkerkinematographie. Ihr Nachteil liegt in der geringeren Bildauflösung (0,5 bis 1 Per/mm gegenüber 1 bis 1,5 Per/mm beim RBV-Kino) und der Frequenzgebundenheit (25 Bilder/sec gegenüber 10 bis 200 und mehr Bilder/sec beim RBV-Kino).

Hieraus ergeben sich die unterschiedlichen Anwendungsindikationen, die zukünftig zunehmen eingeschränkt werden durch die Möglichkeit der Fernsehbild-Bandspeicherung :

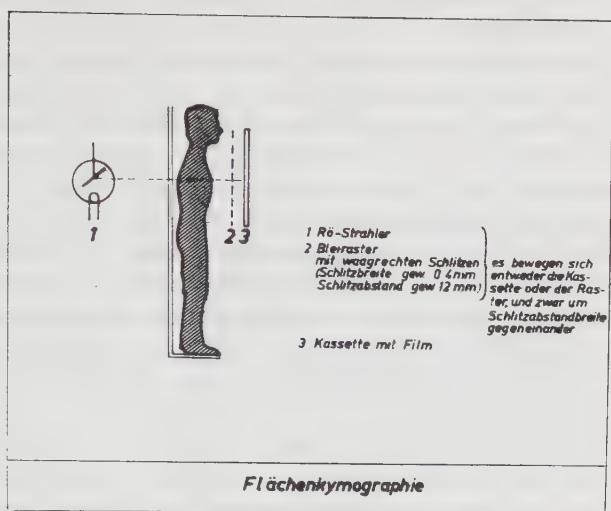
- Bildverstärkerkinematographie : schnelle Organbewegung mit feinen Details, z.B. Herzbewegung mit und ohne Kontrastmittel.
- Fernsehsichtbildkinematographie : langsam ablaufende Vorgänge mit relativ groben Details, sowie Archivierung des Bandspeicherbildes, also Registrierung aus zweiter Hand.
- Fernsehbild-Bandspeicher : Archivierung des Durchleuchtungsbildes bei Routine- und Spezialuntersuchungen.

(HOLM 1962 (50), LISSNER, RIEMAN 1963 (64), LISSNER, GEBAUER 1964 (65), GEBAUER, LISSNER, SCHOTT 1965 (22)).

Zu 1.1.2. (Röntgenkymographie) :

1911 veröffentlichten SABAT (SABAT 1911 (79)), 1912 GÖTT und ROSENTHAL (Gött und ROSENTHAL 1912 (23)) Arbeiten über ein Verfahren, das sie Röntgenkymographie nannten. Dabei wird während einer Röntgenaufnahme die Filmkassette hinter einem Bleiblech, das einen 3 Millimeter breiten waagrechten Schlitz besitzt, abwärtsbewegt; es wird in jedem Augenblick des Fallens der Kassette nur ein dem Schlitz entsprechender Streifen belichtet; ändert das untersuchte Organ, z.B. das Herz seine Gestalt in dieser Zeit, so entsteht auf dem Film eine wellenförmige Konturlinie, die der Organbegrenzung bei verschiedenen großen Durchmessern zu verschiedenen Zeiten entspricht. Es lassen sich hiermit also Organbewegungen, z.B. Herzrandbewegungen dauerhaft registrieren. Die Methode, später Einschlitz-Kymographie genannt, wurde in der Folgezeit mehrfach variiert.

SCHERF und ZDANSKY (SCHERF und ZDANSKY 1929 (80)), arbeiteten mit 2 gegeneinander verschiebbaren Schlitzen, mit denen sie gleichzeitig Randkurven des rechten und linken Herzabschnittes schrieben (zur Einstellung wurde vorher durchleuchtet und die Herzkontur auf den Thorax gezeichnet). READ (READ 1929 (75)) benutzte 2 übereinander gelegene Schlitze, DELHERM, THOYER-ROZAT, CODET und FISCHGOLD (DELHERM, THOYER-ROZAT, CODET und FISCHGOLD 1932 (16)) benutzten 5 übereinander gelegene Schlitze. CIGNOLINI (CIGNOLINI 1934 (13)) teilte den einzigen Schlitz der klassischen Methode in mehrere Abschnitte, die in verschiedenen Höhen über die am meisten interessierenden Punkte des Herzens gelegt wurden und breit genug waren, die seitlichen Schwankungen aufzunehmen. Damit konnte er bei raschem Ablauf der Kassette gedehnte Kurven mehrerer Herzabschnitte während mehrerer Herzschläge schreiben. Später inaugurierte er (CIGNOLINI 1958 (14)) die Polykymographie, die eine Kombination der Flächenkymographie (Übersicht) mit der cignolinischen Methode (zusätzlich detaillierte Kurven besonderer Herzpunkte) darstellt. Mit der von STUMPF 1928 (STUMPF 1928 (83), 1931 (84)) eingeführten Vielschlitz- oder Flächenkymographie werden zwar von vielen Herzrandpunkten Bewegungskurven geschrieben, aber die Kurven sind eng zusammengedrängt und umfassen bestenfalls (bei raschem Ablauf der Kassette) 2 bis 3 Herzaktionen.



Trotzdem hat sich in der Folgezeit diese Methode ohne wesentliche technische Veränderung (bewegter Film ist gleich Stufenkymographie, bewegter Raster ist gleich Rasterkymographie, Raster zwischen Röntgenröhre und Patient vermindert die Strahlenbelastung, ist gleich Distanzkymographie) durchgesetzt. (SCHILLING 1933 (82), HIRSCH 1934 (47), 1941 (48), HECKMANN 1937 (30), HAUBRICH 1963 (25) (26)).

Einen wesentlichen Beitrag zur Randkurveninterpretation lieferten die Arbeiten von BREDNOW und SCHAARE (BREDNOW, SCHAARE 1933 (8)), die mit Hilfe einer Zeitschreibung und synchronen EKG-Aufzeichnung exakte Beziehungen zwischen den mechanischen und elektrischen Vorgängen am Herzen herstellen konnten. Die Synchronschreibung einer zweiten Kurve wurde späterhin wegen der Schwierigkeit der Zuordnung bei der routinemäßigen Untersuchung unterlassen.

Die Grenzen der Leistungsfähigkeit des Flächenkymogramms sind frühzeitig kritisch untersucht worden (LUDWIG 1936 (26), HECKMANN 1937 (31), THURN 1956 (86), HAUBRICH 1963 (26)) :

- a) Das wahre Bewegungsausmaß eines Randpunktes des Herzens wird nur dort gemessen, wo dieser sich parallel zum Rasterschlitz bewegt.
- b) Raster- und Stufenkymographie bedingen Kurvenverzerrungen, die daher rühren, daß während der Aufnahme der Herzbewegung nicht der gleiche Punkt randbildend bleibt.

- c) Es werden nicht nur Pulsationsbewegungen registriert, sondern auch Lokomotionsbewegungen, die miteinander interferieren. (HECKMANN versuchte durch Modellversuche die beiden Bewegungsanteile voneinander zu trennen (HECKMANN 1937 (31)).)
- d) Die Flächenkymographie liefert eine relativ grobe Übersicht über den Bewegungsablauf; die Ursache hierfür ist in dem kleinen Maßstab der Kurven, der Schwierigkeit der zeitlichen Analyse (der Systolenanfang bleibt unbestimmt) zu suchen.
- e) Der Anwendungsbereich der Flächenkymographie : Übersichtsuntersuchungen u. a. im Bereich des Herzens und der großen Gefäße (Myokard- und Perikardaffektionen, Stromvolumen der großen Gefäße); die zusätzliche detaillierte Aussage liefert das Elektrokymogramm (HAUBRICH 1963 (26)).

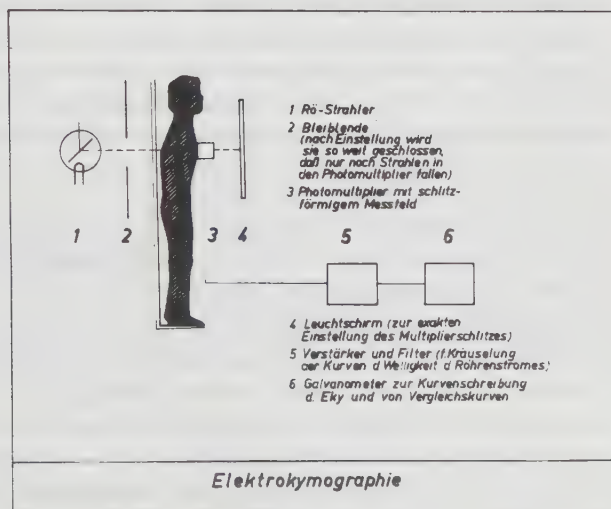
Zu 1.1.3. (Elektrokymographie) :

1933 veröffentlichte von KALOCSAY (KALOCSAY 1933 (60), 1936 (61)) eine Arbeit über ein Verfahren, welches die kurvenmäßige Darstellung der Herzbewegungen erlaubte. Dabei wird der Herzrand oder ein anderer beliebiger Herzteil von einem streifenförmig eingeblendeten Röntgenstrahlenbündel durchsetzt. Die Intensitätsschwankungen der Röntgenstrahlen, hervorgerufen durch Änderungen der Absorptionsverhältnisse durch die Herzbewegungen, werden über einen Leuchtschirm von einer Photozelle als Stromänderungen perzipiert, verstärkt und von einem Galvanometer als Kurven gezeichnet. Diese geben die Herzbewegungen graphisch wieder.

HECKMANN (HECKMANN 1936 (27) (28) (29)) gab 1936 eine Methode an, die er Aktinokardiographie nannte. Dabei wird das Leuchtschirmbild des Herzens - so eingeblendet, daß auf allen Seiten der Strahlenkegel über seinen Rand hinaus reicht - von einem Gerät aufgenommen, das ebenfalls eine Photozelle enthält. Die hierbei erhaltenen Kurven geben Volumenänderungen des gesamten Herzens wieder, Lokomotionsbewegungen (die bei der von Kalocsayschen Methode die Pulsationsbewegungen überlagern) machen sich nicht bemerkbar. Dafür aber erlaubt das Verfahren nicht, die Bewegungen einzelner Herzrandteile zu verfolgen.

Vor von KALOCSAY hatten JAKOBI, JANKER, SCHMITZ (JAKOBI, JANKER, SCHMITZ 1931 (51) 1932 (52)) bei ähnlicher Versuchsanordnung statt der Photozelle eine Ionisationskammer benutzt, die die Inten-

sitätsschwankungen des schmalen Röntgenstrahlenbündels wahrnahm (Ionographie). Der Vorschlag, mit Ionisationskammern zu arbeiten, war erstmals von CHAMBERLAIN 1926 (HAUBRICH 1963 (26)) gemacht worden. HJELMARE (HJELMARE 1946 (49)) benutzte in den Jahren 1937 bis 1939 Photozellen als Perzeptionskammern ohne rechten Erfolg, danach ein Geiger-Müller-Zählrohr, mit dem ihm die Aufzeichnung brauchbarer Kurven gelang. In Frankreich erzielten 1946 MARCHAL (MARCHAL 1946 (71)) und LIAN und MINOT (LIAN und MINOT 1946 (62)) Ergebnisse mit Photozellen als Perzeptionskammern; sie nannten ihre Verfahren Cinédensographie bzw. Radioélektrokymographie. Praktikabel wurden alle diese Methoden erst mit der Einführung des Sekundärelektronenvervielfachers (Photomultiplier), den HENNY und BOONE (HENNY und BOONE 1945 (45)) anwandten. In dieser Form, unter dem Namen Elektrokymographie, wurde die Methode in der Folgezeit auch von anderen übernommen und technisch vervollkommen (insbesondere hinsichtlich der Handlichkeit und der Einstellbarkeit des Aufnahmegerätes, der Eigenschaften und der Anordnung des Leuchtschirmes, der Ausschaltung der Kräuselung der Kurven infolge der Welligkeit des Röhrenstromes durch geeignete Filter) (HENNY, BOONE, CHAMBERLAIN 1947 (46), LUISADA, FLEISCHNER, RAPPAPORT 1948 (69), BOONE, ELLINGER, GILICK 1949 (6), ENGSTRÖM, KJELLBERG, PERSSON, RUHDE 1949 (19), DEUTSCH, GMACHL, SCHACHINGER, SIEDEK, WENGER 1951 (18), HECKMANN 1951 (32), 1952 (40), (41)).



Zur zeitlichen Markierung der einzelnen Punkte der Herzrandkurven haben HENNY und BOONE (HENNY und BOONE 1945 (45)) den Carotispuls, LUISADA und Mitarbeiter (LUISADA, FLEISCHNER, RAPPAPOORT 1948 (69)) das Phonokardiogramm, ENGSTRÖM und Mitarbeiter (ENGSTRÖM, KJELLBERG, PERSSON, RUHDE 1949 (19)) das Elektrokardiogramm, spätere Autoren das Elektrokardiogramm zusammen mit einer zusätzlichen Kurve, z.B. Phonokardiogramm und Elektrokardiogramm simultan mit dem Elektrokymogramm registriert (HECKMANN 1959 (42), LISSNER 1962 (63), HAUBRICH 1963 (26)).

Bei der Interpretation der Kurven ist zu beachten (HECKMANN 1952 (40), (41)) :

- a) Die Synchronisierung des Elektrokymogramms mit den einzelnen Phasen der Herzaktion gelingt am exaktesten mit dem EKG, am übersichtlichsten mit dem PKG (unter Umständen nicht brauchbar bei pathologischen Geräuschphänomenen), am schlechtesten mit der Carotispulskurve, da diese eine nicht konstante Verspätung gegenüber entsprechenden Phasen der Herzaktion aufweist; am günstigsten ist die Aufzeichnung von 2 zusätzlichen Kurven. Das Elektrokymogramm hat eine durch technische Gegebenheiten (Filter) bedingte Verspätung um etwa 0,03 Sekunden gegenüber dem EKG, die jedoch vernachlässigt werden kann.
- b) Die Amplitude der Kurven ist kein Maß für die reale Bewegungsgröße eines Randpunktes (sie ist beispielsweise abhängig von den Helligkeitsdifferenzen zwischen dem untersuchten Organ und seiner Umgebung, die ebenfalls variabel sein kann). Eichvorrichtungen sind angegeben worden unter anderem von MORGAN und STURM (MORGAN und STURM 1951 (73), LISSNER (LISSNER 1957 (63 a))).
- c) Die genaue Einstellung des Aufnahmeschlitzes des Photomultipliers (senkrecht zum Herzrand, Schlitz zur Hälfte bedeckt) ist notwendig, um Kurvenverzerrungen zu vermeiden.
- d) Es wird die Summe aller Bewegungsvorgänge eines Herzrandpunktes aufgezeichnet, Pulsations- und Lokomotionsbewegungen interferieren miteinander (HECKMANN 1952 (38)).
Mit der von HECKMANN 1952 (HECKMANN 1952 (33)) angegebenen Phasenanalyse, bzw. durch das Schreiben von Elektrokymogrammen von möglichst vielen Herzrandpunkten (unter Umständen auch in anderen Ebenen als der Frontalebene) lassen sich Lokomotions- und Pulsationsbewegungen befriedigend voneinander trennen.

Der Indikationsbereich der Elektrokymographie bezüglich des Herzens und der großen Gefäße entspricht dem bei der Flächenkymographie bereits erwähnten.

1.2. Begründung des eigenen methodischen Vorgehens

Die Röntgenkinematographie nimmt insofern unter den angeführten Verfahren eine Sonderstellung ein, als sie allein den realen Bewegungsablauf des gesamten Herzens wiederzugeben vermag.

1.2.1. Vorteile der Röntgenkinematographie gegenüber der Röntgenmomentaufnahme

Die Röntgenmomentaufnahme liefert ein Bild hoher Qualität, dessen Auflösungsvermögen bei 5 bis 10 Per/mm liegt. Sie gibt Auskunft über die Morphologie eines Organes, über seinen Momentzustand zu einem Zeitpunkt, der nicht leicht einer bestimmten Funktionsphase zugeordnet werden kann. Sie gestattet die Diagnose anatomischer Veränderungen, funktionelle Veränderungen lassen sich nicht erfassen.

Die Röntgenkinematographie, sowohl in der Form des Bildverstärker-Kinos als auch in der des Fernseh-Sichtbild-Kinos, liefert Einzelbilder geringerer Qualität. Ihr Ziel ist jedoch auch nicht die Feststellung von unter Umständen sehr feinen anatomischen Veränderungen, sondern das Studium eines röntgenologisch faßbaren Funktionsablaufs. Es wird nicht das Einzelbild untersucht, sondern die zeitlich aufeinander folgenden Einzelbilder werden miteinander in der Laufbildprojektion verglichen, wobei für das Feststellen von aufeinander folgenden Veränderungen eine geringere Bildgüte in Kauf genommen werden kann. Für die Darstellung und Zergliederung der Dynamik eines Vorgangs ist es von größerer Wichtigkeit, viele zeitlich möglichst dicht aufeinanderfolgende Phasen festzuhalten.

Die Technik der Röntgenserienaufnahmen (bis 12 Bilder/sec) liefert keinen befriedigenden Einblick in einen relativ schnell verlaufenden Bewegungsvorgang. Einzelbilder vom Bildverstärker-Ausgangsschirm oder vom Fernsehgerät enthalten weniger Information als die Röntgendirektaufnahme. Für beide Verfahren gibt es bestimmte begrenzte Anwendungsbereiche (GEBAUER, LISSNER, SCHOTT 1965 (22), CANDARDJIS, BUGNION 1959 (10)).

1.2.2. Vorteile der Röntgenkinematographie gegenüber dem Leuchtschirmbild bei der Röntgendurchleuchtung

Die Röntgendurchleuchtung dient der Beobachtung dynamischer Vorgänge. Im Prinzip gilt für sie das, was im vorigen Teil über die Röntgenkinematographie gesagt wurde (denn hierbei wird ja das Leuchtschirmbild photographiert). Das Auflösungsvermögen als Maß für die Bildqualität liegt bei der Bildverstärker-Durchleuchtung und der Fernseh-Durchleuchtung in der Größenordnung der entsprechenden Kinoverfahren; die Qualität des konventionellen Durchleuchtungsbildes ist als Folge der geringen Helligkeit, bzw. der Dunkeladaptation des Auges wesentlich schlechter.

Der Vorteil der Röntgenkinematographie gegenüber der Durchleuchtung liegt nicht in der Bildqualität oder der ausschließlichen Möglichkeit des Funktionsstudiums, sondern in den folgenden Punkten :

- a) Die Auflösung eines sehr schnell verlaufenden oder komplex zusammengesetzten Bewegungsvorganges, wie z.B. der Herzpulsation mit vielfältigen Bewegungsvarianten der verschiedenen Randabschnitte kann nur mit der Röntgenkinematographie erreicht werden (Zeitlupenuntersuchung). Ähnliches gilt für sehr langsame Bewegungsverläufe (Zeitrafferuntersuchung). Der Grund hierfür liegt in physiologischen Gegebenheiten des menschlichen Sehapparates.
- b) Der Flüchtigkeit des Leuchtschirmbildes steht die beliebig häufige (auch vor weiteren Untersuchern oder zu Lehrzwecken) Reproduzierbarkeit des gefilmten Prozesses gegenüber.
- c) Die Synchronisierung ihrer Befunde mit anderen zur Analyse des Funktionsablaufs beitragenden Informationen (am Herz zum Beispiel EKG) erlaubt nur die Röntgenkinematographie (GROEDEL 1913 (24), PRINZMETAL, KENNAMER, WEINER, BISHOP 1956 (74), SPRAWIS, TAYLOR, COBBS 1964 (82)).

1.2.3. Vorteile der Röntgenkinematographie bei der Auswertung der erhaltenen Information

Die unmittelbare Beobachtung solcher Bewegungsvorgänge wie z.B. Herzrandbewegungen, auf dem projizierten Film liefert trotz Zeitlupenvorführung nur eine subjektive und grobe Orientierung. Detaillierte Auskünfte gibt nur ein messendes Verfahren, bzw. die Übersetzung des Filmbildes in eine graphische Darstellung.

Schon GROEDEL (GROEDEL 1913 (24)) wertete seine Aufnahmen in der Weise aus, daß er die Umrißlinie des Herzens Bild für Bild nachzeichnete und miteinander und den zugehörigen EKG-Phasen verglich.

CHAMBERLAIN und DOCK (CHAMBERLAIN und DOCK 1927 (12)) griffen beliebige Punkte des Herzrandes heraus und verfolgten die Bewegung jedes einzelnen durch Ausmessen der Lageänderung (in der Richtung der Senkrechten auf den Herzrand) von Bild zu Bild. Durch Eintragen der Ergebnisse in ein Koordinatensystem, auf dessen Abszisse die Zeitintervalle zwischen den ausgewerteten Bildern und auf dessen Ordinate die jeweils zurückgelegten Wegstrecken aufgetragen wurden, erhielten sie Kurven von der Art der Elektrokymogramme.

JANKER (JANKER 1933 (54)) beschrieb 1933 die Möglichkeit, das Prinzip der Röntgenkymographie für die Auswertung von Kinematogrammen anzuwenden. Mit Hilfe einer Apparatur, die wie der Einschlitzkymograph einen waagrechten Schlitz aufweist, wird ein beliebiger Streifen eines Kinobildes photographiert; der zu belichtende Film wird im Schlitzbreite weiterbewegt und dann der entsprechende Streifen des nächsten Kinobildes photographiert usw.. Dieses Prinzip der indirekten Einschlitzkymographie läßt sich in abgewandelter Form auch für die Anfertigung von indirekten Flächenkymogrammen verwerten. Umgekehrt lassen sich aus Flächenkymogrammen Kinofilme herstellen (STUMPF 1931 (84), WEBER 1951 (87)).

WEGELIUS und LIND (WEGELIUS und LIND 1957 (88)) machten 1957 den Vorschlag, statt umständlichen Ausmessens direkt ein Elektrokymogramm vom Kinofilm zu schreiben. Sie gaben 1960 (WEGELIUS, LIND 1960 (89)) eine nicht in Einzelheiten beschriebene Apparatur an (Projektor, Projektionsfläche für den Film, in der sich ein drehbar auf den Herzrand einstellbarer Schlitz mit einer Photozelle befand, die über ein Filter mit einem Registriergalvanometer verbunden war), teilten aber keine Originalergebnisse mit.

Die von STUMPF (STUMPF 1928 (83)) 1928 benutzte Densographie zur feineren Analyse seiner Flächenkymogramme entspricht grundsätzlich der vorgenannten Methode : Ein schlitzparalleler schmaler Lichtstreifen durchsetzt den Randteil oder einen beliebigen anderen Teil der Kymogrammaufnahme und fällt auf eine Photozelle, die mit einem Registriergerät verbunden ist; bei Bewegung des Flächenkymogramms (wie bei der Aufnahme) entstehen Lichtintensitätsänderungen entsprechend den Schwärzungsunterschieden; sie werden als Kurve registriert, die einem Elektrokymogramm ähnelt.

1.2.4. Die eigene Fragestellung

Die Röntgenkinematographie liefert mindestens die gleiche Bildinformation wie das Leuchtschirmbild. Ihre Auswertungsmöglichkeiten sind aber vielfältiger. Sie erlaubt die nachträgliche Schreibung von Flächenkymogrammen und Elektrokymogrammen vom Film.

Welche technischen Einrichtungen sind notwendig und welche Ergebnisse lassen sich erzielen, wenn röntgenkinematographische Aufnahmen der Herzrandbewegungen (möglichst hoher Bildfrequenz, um eine möglichst große Auflösung des Bewegungsablaufs zu erreichen) in der Weise ausgewertet werden sollen, daß Elektrokymogramme vom projizierten Film geschrieben werden ?

Der Gewinn eines solchen Vorgehens scheint uns in den folgenden Gesichtspunkten zu liegen :

- a) Die im Elektrokymogramm registrierte Herzrandbewegung kann jederzeit mit der realen Dynamik des Bewegungsablaufs, wie sie das Kinematogramm bietet, verglichen werden.
- b) Es können Elektrokymogramme von beliebig vielen Punkten des Herzrandes in der gefilmten Ebene geschrieben werden.
- c) Die Elektrokymogramme können beliebig oft wiederholt und ergänzt werden.
- d) Alle Elektrokymogramme sind völlig synchron.
- e) Die Untersuchungsdauer wird verkürzt, die Dosisbelastung des Patienten und des Untersuchers verringert.

Zur Bezeichnung der Methode wird der Ausdruck Cinekymographie vorgeschlagen.

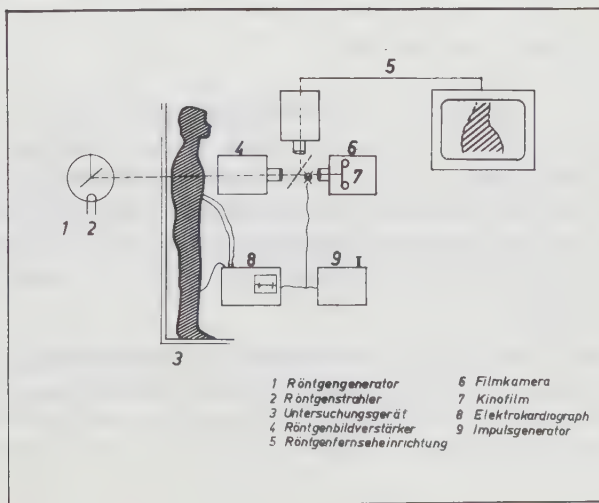
2. Hauptteil

2.1. Technische Gegebenheiten der eigenen Methode

Mit Unterstützung der Siemens-Reiniger-Werke AG, Erlangen - insbesondere den Herren Goering und Balfanz sei an dieser Stelle unser Dank ausgesprochen - wurden Aufnahme- und Auswertegeräte zusammengestellt, die die Durchführung unserer Vorhaben ermöglichen.

2.1.1. Aufnahmegeräte

- 2.1.1.1. Röntgengenerator
- 2.1.1.2. Röntgenstrahler
- 2.1.1.3. Untersuchungsgerät
- 2.1.1.4. Röntgenbildverstärker
- 2.1.1.5. Röntgenfernseheinrichtung
- 2.1.1.6. Filmkamera
- 2.1.1.7. Kinofilm
- 2.1.1.8. Elektrokardiograph
- 2.1.1.9. Impulsgenerator

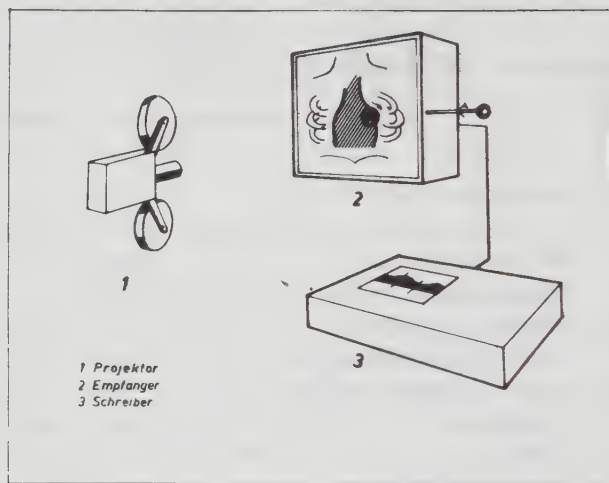


2.1.2. Auswertegeräte

2.1.2.1. Projektor

2.1.2.2. Empfänger

2.1.2.3. Schreiber



Zu 2.1.1.1. (Röntgengenerator) :

Bei dem von uns verwendeten 12-Puls-Röntgengenerator Gigantos der Firma Siemens-Reiniger-Werke AG, Erlangen (Leistung 1000 mA bei 100 kV) ist die verbleibende Welligkeit der Röntgenstrahlung gering. Dieser Gesichtspunkt ist insofern von Bedeutung, als sich bei hohen Bildfrequenzen auch hochfrequente periodische Schwankungen der Strahlungsintensität in Schwärzungsunterschieden der einzelnen Kinobilder bemerkbar machen können.

Auf die Dosisleistungsregelung wurde verzichtet. Durch Probeaufnahmen wurden die für unsere Zwecke günstig erscheinenden Belichtungsdaten ermittelt.

Wir arbeiteten mit kontinuierlichem Röhrenbetrieb, d.h. die Belichtung während des gesamten Filmablaufs wird im Langzeitschuß vorgenommen (Dauer : 5 Sekunden für eine Filmszene, begrenzt durch das Belastungsdiagramm des Röntgenstrahlers; das entspricht durchschnittlich 5 Herzaktionen pro Filmszene).

Die Kinopulstechnik (BISCHOFF 1962 (5), BALFANZ, GAJEWSKI, SCHOTT 1963/64 (1)) wurde nicht angewandt, da bei der von uns unter anderem benutzten Bildfrequenz von 200/sec die Belichtungszeit so kurz ist (2, 5 msec), daß eine wesentliche Herzabsetzung der Bewegungsunschärfe durch Pulsbelichtung (1 - 2 msec) nicht zu erwarten ist; der Gesichtspunkt der Dosisersparnis während des Filmtransportes kann bei hohen Frequenzen praktisch außer acht gelassen werden, denn die An- und Abklingvorgänge bei der Anregung des Leuchtschirmbildes fallen hierbei zeitlich zum Teil mit dem Dunkelsektor der Kamerablende zusammen und gehen für die Belichtung verloren, weshalb eine höhere Dosis im Impuls nötig wäre (BÜHLMAYER, SCHUSTER, GAJEWSKI 1965 (9)).

Zu 2.1.1.2. (Röntgenstrahler) :

Als Röntgenstrahler wurde der hochbelastbare Drehanodenstrahler Biangulix 125/30/50 der Firma Siemens-Reiniger-Werke AG, Erlangen mit kleinem (0,6 mm x 0,6 mm) Brennfleck benutzt; er hat eine gute Zeichenschärfe.

Zu 2.1.1.3. (Untersuchungsgerät) :

Bei dem Untersuchungsgerät handelt es sich um das Isoskop der Firma Siemens-Reiniger-Werke AG, Erlangen; die Patienten wurden im Stehen untersucht.

Zu 2.1.1.4. (Röntgenbildverstärker) :

Der verwendete Siemens-Röntgenbildverstärker Sirecon Duplex 25/15 hat ein elektronenoptisches Abbildungsverhältnis, das umschaltbar ist : Bei

der 25 cm (10 ") großen Eingangsfläche kann das ganze Herz, bei der 15 cm (6 ") großen ein Ausschnitt, zum Beispiel der linke Herzrand in etwa doppelter Vergrößerung gefilmt werden.

Die Bildverstärkerausgangsebene ist über eine Tandemobjektiv-Anordnung (optimale Lichtübermittlung vom RbV zu Kamera) mit der Kamera verbunden.

Zu 2.1.1.5. (Röntgenfernseheinrichtung) :

Mit Hilfe der angeschlossenen Siemens-Röntgen-Fernseh-Einrichtung (mit Vidikon) wurde die Einstellung der zu filmenden Szene (des gesamten Herzens oder eines bestimmten vergrößerten Abschnitts) vorgenommen. Gleichzeitig ermöglichte sie die Beobachtung während der Untersuchung; durch zwischen die Tandemoptik einschwengbare Spiegel wird entweder alles Licht zur Fernsehkamera oder aber - während des Filmens - 90 % des Lichtes zur Filmkamera und nur 10 % zur Fernsehkamera geleitet.

Zu 2.1.1.6. (Filmkamera) :

Für hohe Bildfrequenzen ist eine 35-mm-Kamera wegen ihres hohen Gewichtes und der beim intermittierenden Filmtransport entstehenden Erschütterung des bilderzeugenden Systems weniger geeignet als eine 16-mm-Kamera. Wir filmten daher mit einer solchen Kamera der Firma Eclair, Paris (Camématic GV Super 16), die (elektronisch stabilisierte) Bildfrequenzen von 40, 75, 100, 150 bzw. 200/sec erlaubt. Wir machten Aufnahmen mit den Bildfrequenzen 40/sec und 200/sec; die hohe Bildfrequenz wurde gewählt, um zu untersuchen, ob die größere Auflösung des Bewegungsvorgangs, die hierbei erreicht wird, bei der Auswertung wesentliche Vorteile birgt.

Die Kamera enthielt das Rodenstock-Objektiv Heligon der Lichtstärke 1,3 und der Brennweite 38 mm.

Der Hellsektor der Umlaufblende der Kinokamera beträgt 180 Grad.

Zu 2.1.1.7. (Kinofilm) :

Die Filmempfindlichkeit soll so auf die Empfindlichkeit des Gesamtsystems (Konversionsfaktor des RBV, Lichtstärke der Optik, Hellsektor der Kamerablende) abgestimmt sein, daß die notwendige Dosis pro Einzelbild des Kinofilms größer als 10 Mikro-Röntgen ist; andernfalls treten Bildgüteverluste durch Quantenrauschen auf, die die Auswertung erschweren. Verwendet wurde entsprechend diesen Überlegungen der mittelempfindliche Film Gevapan 30.

Die Filme wurden freundlicherweise vom Hessischen Rundfunk entwickelt. Zur Projektion wurde im Kopierverfahren ein Positiv hergestellt; bei Verwendung eines sehr kontrastreich arbeitenden Kopiermaterials wird eine Kontraststeigerung erzielt, ohne daß sich - wie bei sehr kontrastreich entwickeltem Negativ - die Körnigkeit detailvermindernd bemerkbar macht (BORCKE, PUDWITZ 1962 (7)).

Zu 2.1.1.8. (Elektrokardiograph) :

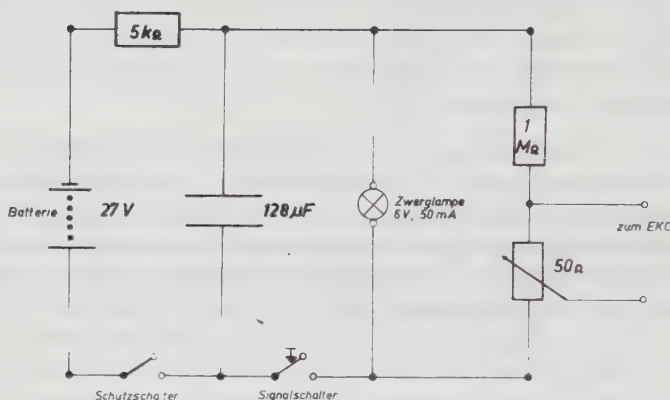
Vom stehenden Patienten wurde mittels eines Elektrokardiographen (System Beck Typ E 18 un) ein EKG (Ableitung von drei Extremitäten) geschrieben; die Laufgeschwindigkeit des signalaufnehmenden Papierstreifens beträgt 100 mm/sec.

Zu 2.1.1.9. (Impulsgenerator) :

Die Synchronisierung des EKG mit dem Kinofilm wurde erreicht durch einen Impulsgenerator folgender Bauweise :

Als Spannungsquelle dient eine 27-Volt-Batterie, um Störungen für das Elektrokardiogramm durch Wechselstrom zu vermeiden. Über einen Ladewiderstand (5 Kilo-Ohm) wird damit ein Kondensator (128 Mikro-Farad) aufgeladen; nach der Aufladung wird der Schalter des ersten Stromkreises wieder geöffnet (Schutzschalter für die Batterie). Durch Betätigung des Signalschalters entlädt sich der Kondensator über eine Lampe (Zwerglampe L 10.12 sockellos der Firma Zorn, Berlin; 6 V, 50 mA), die sich zwischen den Tandemobjektiven befindet. Die Lampe verträgt die kurz-

zeitige Überlastung durch den Blitz. Parallel zur Lampe liegen in einem weiteren hochohmigen Stromkreis ein Widerstand (1 Mega-Ohm) und ein Spannungsteiler, der beim Aufleuchten der Lampe einen Impuls von 1 mV in das EKG abgibt. Die Leitungen zum EKG sind abgeschirmt.



Die Lampe blichtet das gesamte Feld einiger Bilder der Kinoszene. (Damit erhält das spätere Cinekymogramm unabhängig von der Lage des Meßfeldes ein Signal.) Im gleichen Zeitraum erhält das Elektrokardiogramm sein Signal.

Zu 2.1.2.1. (Projektor) :

Zur Projektion des entwickelten Kinofilmes diente ein Analysen-Projektor (Kodak Analyst SFDR) mit kontinuierlich regelbarer Bildfrequenz. Diese mußte von Hand so eingestellt werden, daß sie der EKG-Kurve angepaßt war (bei einer bestimmten Papiergeschwindigkeit des zur Cinekymogramm-Schreibung verwendeten Cardirex); die Zeitmarkierungen von Film und EKG mußten zur Deckung gebracht werden.

Der Projektor besitzt eine Umlaublende mit vier Hellsektoren (Flimmerfrequenz). Ein Sektor ist größer und besitzt ein Drahtgitter zur Wärmeableitung bei Standbildprojektionen. Jedes Kinobild wird also viermal abgedunkelt und projiziert.

Zu 2.1.2.2. (Empfänger) :

In der Projektionsebene des Filmes war ein Photomultiplier (RCA 931 A) mit drehbarem, rechteckig (8 mal 20 Millimeter) eingeblendeten Meßfeld so angeordnet, daß die Rechteck-Dominante an jede beliebige Stelle des Bildes gelegt werden konnte; sie wurde bei der Filmprojektion senkrecht auf den Herzrand am interessierenden Punkt eingestellt.

Der Multiplier wurde durch ein Graufilter einem möglichst günstigen Arbeitsbereich angepaßt, in dem der Photostrom proportional der Beleuchtungsstärke ist, andererseits aber das Eigenrauschen des Multipliers (bedingt durch den Dunkelstrom der thermischen Elektronen) noch in günstigem Verhältnis zum Signal steht.

Seine Trägheit ist so gering, daß er den durch die unter Umständen hohe Projektionsbildfrequenz bedingten schnellen Helligkeitsänderungen folgen konnte.

Zu 2.1.2.3. (Schreiber) :

Als Registriergerät für das Cinekymogramm wurde ein EKG-Direktschreiber (Siemens Cardirex 30) benutzt. Er enthält einen Gleichspannungsverstärker für das eingehende Multiplier-Signal.

Die Papierablaufgeschwindigkeit beträgt 2, 5, 10, 50, bzw. 100 mm/sec.

Die Trägheit des Schreibers ist so gering, daß er die durch die Hell- und Dunkelsektoren des Projektors hervorgerufenen Helligkeitsänderungen aufzuzeichnen vermag. Pro Kinobild werden drei einander gleichende und eine vierte lichtschwächere und breitere Zacke notiert.

Die Cinekymogramm-Kurve ergibt sich als Umhüllungskurve der erstgenannten Zacken; die letztere kann zur Zeitmarkierung (Bestimmung der Bildfrequenz) benutzt werden.

2. 2. Untersuchungen und Ergebnisse

2. 2. 1. Praktische Durchführung der Untersuchung

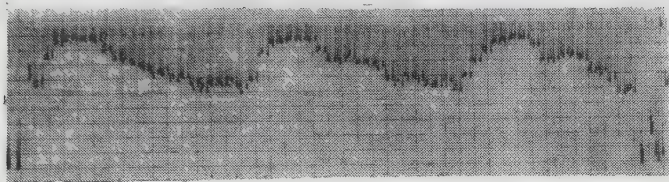
Wir untersuchten in mehreren Untersuchungsreihen jeweils drei bis vier Patienten, die wir von der I. Medizinischen Universitätsklinik Frankfurt am Main übernahmen.

Im ersten Abschnitt der Untersuchung wurde ein Kinofilm hergestellt. Dabei wurde der Patient - nachdem ihm die EKG-Elektroden angelegt worden waren - mit entblößtem Oberkörper in stehender Haltung mit Hilfe der im vorhergehenden Teil beschriebenen Apparatur von einem Untersucher durchleuchtet; Aortenbogen und Herz, bzw. der interessierende Herzabschnitt wurden in der Frontalebene filmgerecht eingestellt. Anschließend wurden die Spiegel innerhalb der Tandemoptik umgeklappt (überwiegender Lichtanteil jetzt nicht mehr zur Fernseh- sondern zur Filmkamera), die für die Filmszene ermittelten Belichtungsdaten eingestellt, der Patient aufgefordert einzuatmen und den Atem anzuhalten, und Röntgenapparat und Kamera in Gang gesetzt. Ein zweiter Untersucher bediente währenddessen den Elektrokardiographen und den Impulsgenerator : Der Kondensator des letzteren war vor Untersuchungsbeginn aufgeladen, der Elektrokardiograph kurz vor Filmbeginn eingeschaltet worden. Unmittelbar nach Beginn der Kinaufnahme wurde von Hand ein erstes und drei bis vier Sekunden später (in dieser Zeit wurde der Kondensator des Impulsgenerators wieder aufgeladen) ein zweites Synchronisierungssignal gesetzt. Danach wurden Röntgenapparat, Kamera und Elektrokardiographie ausgeschaltet. Die Filme wurden sodann entwickelt und kopiert.

Im zweiten Untersuchungsabschnitt wurde die Positivkopie der Filme ausgewertet : Vom projizierten Film wurde in der im vorhergehenden Teil beschriebenen Weise ein Cinekymogramm geschrieben. Dabei mußten die Projektionsgeschwindigkeit des Filmes und die Papierablaufgeschwindigkeit des Cardirex so aufeinander abgestimmt werden, daß die Zeitmarken von Cinekymogramm und EKG zur Deckung gebracht wurden. Praktisch wurde so vorgegangen, daß bei einer bestimmten konstanten Papierablaufgeschwindigkeit die Bildfrequenz des Projektors mit einer Stoppuhr auf den passenden Wert eingeregelt wurde.

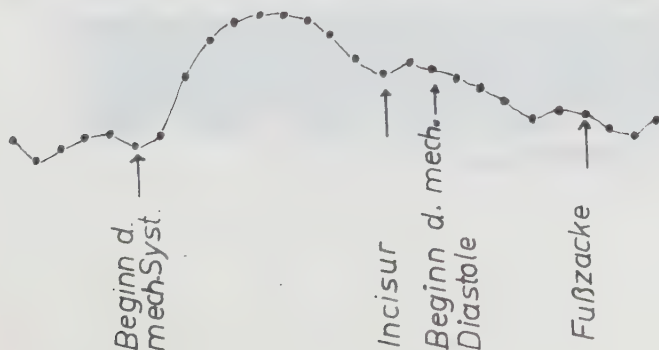
2.2.2. Untersuchungsergebnisse

Die Cinekymogramme der ersten Untersuchungsserien wiesen Mängel auf, die bedingt waren durch ungünstige Belichtungsdaten der Filme und kleinere technische Fehlleistungen, die aber im Laufe unseres Arbeitens ausgeschaltet werden konnten. Die Ergebnisse der letzten Untersuchungsreihe erscheinen uns am gelungensten. Zugleich demonstrieren sie deutlich die Grenzen der Leistungsfähigkeit der Cinekymographie in der von uns angewendeten Technik.

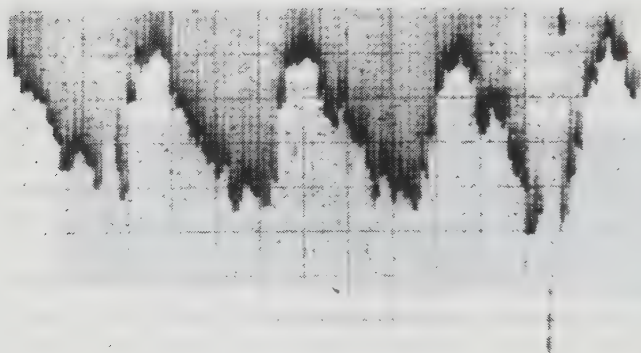


Unsre Aortenkurven lassen durchweg die typischen Merkmale des normalen Elektrokymogramms erkennen : Einen steilen, dann flacher werdenden Anstieg, eine Incisur, einen unregelmäßigen diastolischen Abfall und eine Fußzacke.

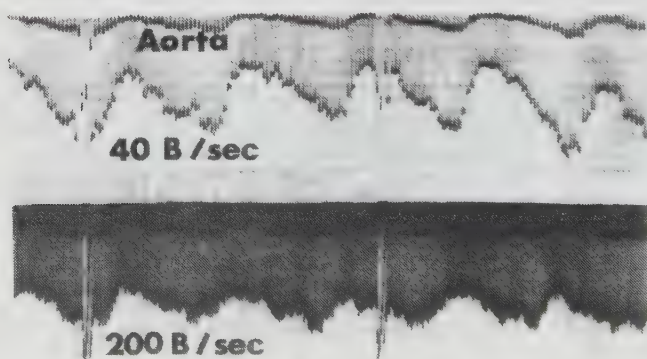
Man sieht, daß sich der Kurvenzug auf der vorhergehenden Abbildung aus Gruppen von jeweils drei Einzelinformationen (entsprechend den drei schmalen Blendenspektoren des Projektors) zusammengesetzt. Ungleichheiten der Zacken innerhalb einer solchen Gruppe (von denen jede ja die gleiche Information enthalten müßte, da sie vom gleichen Kinobild herührt) sind offenbar bedingt durch Störungen bei der Filmprojektion. In der Annahme, daß der Mittelwert dieser Zackengruppen den gültigen Meßwert darstellt, ist eine Kurvenphase nachgezeichnet worden :



Die unterschiedliche Ausprägung der Merkmale von Herzaktion zu Herzaktion erschwert jedoch die eindeutige Lesbarkeit. Auch durch Änderung der Projektionsfrequenz, bzw. der Papierablaufgeschwindigkeit des Cardirex läßt sich eine Verbesserung der Qualität der Kurven nicht erreichen :



Die bisher angeführten Cinekymogramme wurden von einem Film der Bildfrequenz 40/sec geschrieben. Die Kurvenschreibung von einem Film der Bildfrequenz 200/sec liefert keine bessere Aussage; im Gegenteil, die dichtere Information bringt auch Kurvenverzerrungen deutlicher zum Ausdruck.



Der auf der vorhergehenden Abbildung über den Hauptkurven sichtbare Kurvenzug (am besten auf der oberen Aortenkurve) entsteht durch Helligkeitsschwankungen des Kinobildes, die durch den breiten Standbildsektor der Projektorblende übertragen werden; infolge der geringen Bildhelligkeit - bedingt durch das der Wärmeableitung dienende Frahtgitter - ist diese Kurve sehr detailarm und unbrauchbar.

Die Cinekymogramme sind vom Positiv des entwickelten Films geschrieben worden. Dabei stellen sich Lateralbewegungen des Herzrandes als Abwärtsbewegungen der Kurve dar. Zur Vermeidung von Interpretationsschwierigkeiten durch das ungewohnte Bild wurden die Kurven im durchfallenden Licht betrachtet, wobei die Rückseite des Registrierpapiere dem Betrachter zugewendet war. In dieser Weise sind sie auch fotografiert und hier abgebildet worden. Bei dieser Kurvenspiegelung erhält man den gewohnten Verlauf, d.h. Lateralbewegungen des Herzrandes stellen sich als Aufwärtsbewegungen der Kurve dar.

Die bei den angeführten Aorten-Cinekymogrammen beschriebene Inkonsistenz der Merkmale macht sich in der ohnedies variablen Form der Kurven vom linken Herzrand weitaus störender bemerkbar. Die Befunde werden vieldeutig; sie lassen im Grunde eine hinreichend begründbare Deutung nicht zu. Wir haben deshalb auch auf die Mitteilung mehrerer Kurven vom Ventrikelrand verzichtet und eine phasenanalytische Betrachtung unterlassen. Die beiden nachfolgend angegebenen Cinekymogramme sollen nur beispielhaft die Leistungsfähigkeit der Methode demonstrieren.

- a) 61-jähriger Patient, der 1959 einen Myokardinfarkt erlitt (EKG : Vorderwandspitzeninfarkt).

Untersuchungsdaten :

Filmobjekt : Linker Herzrand (Ausschnittvergrößerung)

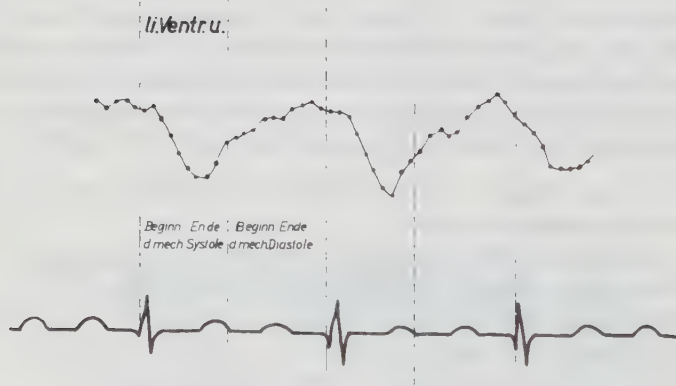
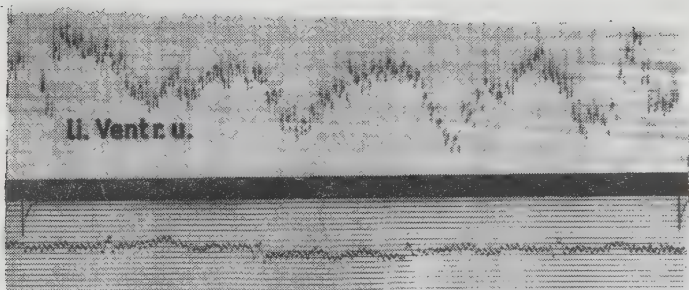
Bildfrequenz : 40/sec

Belichtungsdaten : 80 kV, 45 mA

Dauer der Filmuntersuchung : 5 Sekunden

Papierablaufgeschwindigkeit des Cardirex : 25 mm/sec

Projektionsbildfrequenz : 10/sec



Das Cinekymogramm zeigt einen sinusähnlichen Kurvenzug mit Zackenbildung im diastolischen Schenkel. Solche Kurvenformen finden sich analog im Elektrokymogramm bei dilatiertem myokardgeschädigten Ventrikel. Anhalt für systolische Lateralbewegungen, die signifikant für einen abgelaufenen Infarkt, bzw. ein dynamisches Herzwandaneurysma sein könnten, ergibt sich nicht.

- b) 57-jähriger Patient, der 1959 innerhalb von wenigen Monaten drei Myokardinfarkte erlitt (EKG : Vorderwandspitzeninfarkte).

Untersuchungsdaten :

Filmobjekt : Gesamtes Herz

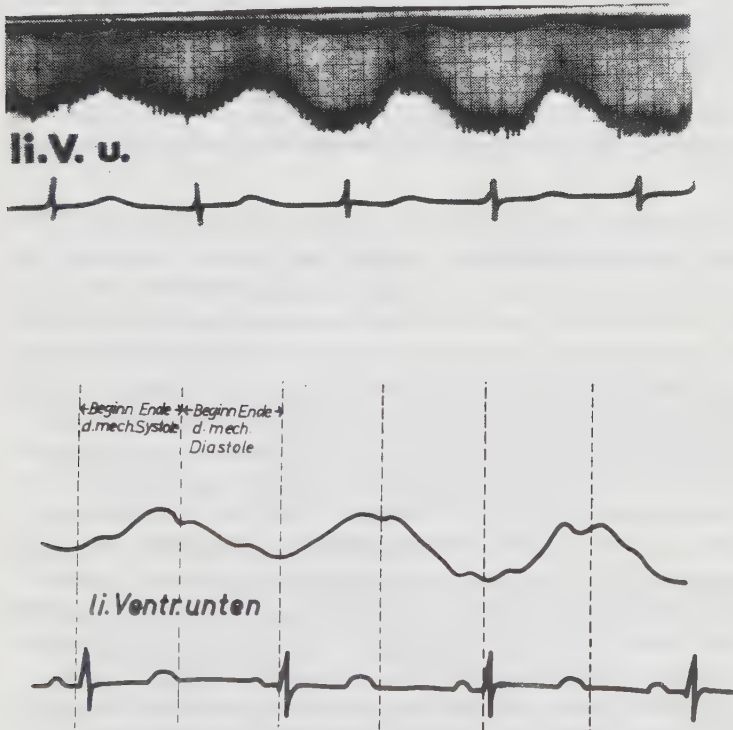
Bildfrequenz : 200/sec

Belichtungsdaten : 80 kV, 55 mA

Dauer der Filmuntersuchung : 5 Sekunden

Papierablaufgeschwindigkeit des Cardirex : 25 mm/sec

Projektionsbildfrequenz : 50/sec



Das Cinekymogramm vom kaudalen linken Ventrikelabschnitt besitzt eine relativ konstante Form : Eine in jeder Herzaktion wiederkehrende Lateralbewegung, die die gesamte Systole ausfüllt. Sie ist ein Hinweis für einen malazischen Wandbereich oder ein bestehendes Herzwandaneurysma nach abgelaufenem Myokardinfarkt.

2.3. Diskussion der technischen Gegebenheiten der Methode und der erhaltenen Ergebnisse

Als Antwort auf unsere Frage, wie Cinekymographie praktisch durchgeführt werden könne und was sie zu leisten vermöchte, sind technische Einrichtungen, die das Verfahren ermöglichten, und damit erhaltene Cinekymogramme angegeben und beschrieben worden.

Die Maßstäbe zur Beurteilung der Ergebnisse der Cinekymographie liefert der Vergleich mit der Methode der direkten Elektrokymographie.

Der wesentliche Vorteil unserer indirekten Methode scheint uns - wie bereits erwähnt - in der Verkürzung der Untersuchungsdauer und Verringerung der Strahlenbelastung für den Patienten zu liegen; das gilt besonders für Patienten mit Myokardinfarkt, denen die Belastung durch langwierige diagnostische Eingriffe nicht zugemutet werden kann. Wir haben für unsere Untersuchung daher gerade eine solche Patientengruppe ausgewählt.

Die Elektrokymographie hat sich in der Infarkt Diagnostik überdies als wertvolle Untersuchungsmethode erwiesen (HECKMANN 1952 (35), 1959 (42), 1963, (44)). Ihre Bedeutung liegt in der Diagnostik "des klinisch atypischen Infarktes mit unzureichender Anamnese, mit larviertem klinischen Verlauf und mit maskiertem Schmerz" (HAUBRICH 1963 (26)), der auch dann noch erfaßt werden kann - sofern er Veränderungen des Kontraktionsablaufs bewirkt -, wenn keine charakteristischen EKG-Befunde mehr erhebbar sind, sowie in der Verlaufskontrolle und prognostischen Beurteilung abgelaufener Infarkte. Der bevorzugte Befall der linken Coronararterie und die große Häufigkeit des Vorderwandinfarktes, mit anderen Worten: die sich häufig bietende Möglichkeit, die interessierende Information bei der am einfachsten durchführbaren Untersuchung des linken Herzrandes in der Frontalebene zu erhalten, begünstigt die Anwendung. Das elektrokymographisch signifikante Infarktzeichen ist die systolische Bewegungsparadoxie, die während der gesamten Systole andauern oder, falls am Ende der Systole eine Medialbewegung auftritt, diese im Ausmaß wesentlich übertreffen muß und die mit Hilfe der Phasenanalyse als umschriebene Zone zu erkennen sein muß. Es ist der Ausdruck der dem Ventrikeldruck nur mehr oder weniger Widerstand leistenden Myokardschwiele.

Auch bei diffuser Myokardschädigung (wie z.B. bei der Coronarsklerose) liefert das Elektrokymogramm vielfältige mehr oder weniger charakte-

ristische Befunde (HECKMANN 1952 (34), (36), (37), (39), 1959 (42), 1960 (43), HAUBRICH 1963 (26)) : Genannt seien hier rückläufige Bewegungen in der Systole und vor allem der Diastole, die zu einfachen oder mehrfachen Zacken-, bzw. Treppenbildungen führen, und gleichmäßig über den ganzen linken Herzrand verteilte kuppel-, plateau- und sinus-artige Kurvenformen.

Unsere Cinekymogramme zeigen solche Merkmale umschriebener oder diffuser Myokardschädigung in manchen Abschnitten; sie sind an den entsprechenden Stellen beschrieben worden. Die Deutung wird jedoch in ihrem Wert gemindert, da fast alle Kurven eine Inkonsistenz ihrer Merkmale wegen der von Herzaktion zu Herzaktion relativ stark wechselnden Kurvenformen aufweisen. Eindeutige diagnostische Folgerungen lassen sich daher noch nicht gewinnen. Die Prägnanz der Ergebnisse der direkten Elektrokymographie wurde bisher nicht erreicht.

Die Ursachen der wechselnden Kurvenverzerrungen sind in Mängeln der Verfahrenstechnik zu suchen.

Störfaktoren lassen sich auf drei Abschnitte des Untersuchungsganges verteilen:

- a) Filmaufnahme
- b) Filmverarbeitung
- c) Filmprojektion

Zu a): Jedes einzelne Kinobild muß unter streng konstanten Bedingungen entstehen; Unterschiede zwischen zwei Bildern müssen sich ausschließlich auf Veränderungen zurückführen lassen, die durch die neu zu untersuchende Herzaktion bewirkt werden.

Diese Forderung läßt sich konkretisieren:

Es sollten Maßnahmen getroffen werden, die eine Dosiskonstanz während der Kinoszene gewährleisten, d. h. zweckmäßig ist die Benutzung einer Dosisleistungsregelung.

Die Röhrenspannung sollte so geglättet sein, daß die Dosiswelligkeit am Bildverstärkereingang möglichst gleich Null wird.

Die Belichtungsdaten des Filmes sollten so gewählt werden, daß der Film zwar stärker als gewöhnlich belichtet wird (das Kinobild soll kontrastreich sein, damit sich der Herzschaten ausreichend intensiv von seiner Umgebung abhebt), die entscheidenden Bildpartien aber im linearen Teil der Gradationskurve liegen;

andernfalls führt die Nichtproportionalität zwischen Helligkeitsdifferenzen des Objekts und Schwärzungssprüngen des Filmbildes zu Kurvenverzerrungen.

Gegenüber den erwähnten Punkten machen sich wahrscheinlich Atem- und andere Bewegungen des Patienten weniger störend bemerkbar. Trotzdem sollte auf befriedigende Fixierung des Patienten Wert gelegt werden.

Zu b): Jedes Bild der Positivkopie des Filmes darf gegenüber jedem anderen nur Schwärzungsunterschiede aufweisen, die bedingt sind durch von der Herzbewegung hervorgerufenen Helligkeitsschwankungen.

Filmentwicklung und -kopierung sollten so ausgeführt werden, daß der Film schrumpfungsfrei bleibt und keinerlei Verschmutzungen erhält. Bei der Aufbewahrung und den für die Projektionen notwendigen Manipulationen muß auf strenge Sauberhaltung des Filmstreifens geachtet werden.

Zu c): Für das projizierte Bild gilt das, was schon als prinzipielle Forderung für das Filmbild unter a) und b) erwähnt wurde.

Die Projektionsfläche sollte von gleichmäßiger Struktur und sauber sein.

Der Bildstand sollte stets gleich sein, d. h. es dürfen keine Erschütterungen auftreten, die zu Relativbewegungen zwischen Projektor und Projektionsfläche führen.

Der Projektor sollte mit Gleichspannung betrieben werden, um eine Restwelligkeit der Lampenspannung auszuschließen. Es sollte eine nicht unterteilte Umlaufblende erhalten; die Unsicherheit, welche - bei einer doch noch vorhandenen Ungleichheit der Zacken innerhalb einer Dreiergruppe - den richtigen Meßwert darstellt, ließe sich so vermeiden.

Außer der Ausschaltung von Störfaktoren, die die Kurvenform verzerren, erscheinen weitere Verbesserungen der technischen Einrichtungen wünschenswert:

Die Impulsauslösung sollte automatisch erfolgen, so daß die Strecken zwischen den Zeitmarken stets gleich lang sind und die Zeitmarken so dicht an Anfang und Ende des Filablaufs gesetzt werden können, wie es bei Handauslösung nicht möglich ist.

Der Projektor sollte einen Synchronmotor für bestimmte konstante Bildfrequenzen erhalten, wodurch die umständlichen Manipulationen entfielen, die nötig waren, um die Zeitmarken von EKG und Cinekymogramm zur Deckung zu bringen.

Durch eine Lagerung des Patienten, die eine Entspannung gewährleistet, ließen sich Verzitterungen des Elektrokardiogramms durch Muskelaktionsströme vermeiden.

Die Lesbarkeit der Kurven würde einfacher, wenn statt des Positivs das Negativ des Films projiziert würde; hierbei würden sich dann wie gewohnt Lateralbewegungen des Herzrandes als Aufwärtsbewegungen der Kurve darstellen. Zu diesem Zweck müßte das Negativ kontrastreich, d.h. zum hohen Gamma entwickelt werden unter Beachtung der Forderung, daß das Bild im linearen Teil der Schwärzungskurve bleiben muß.

Mit einer entsprechend den oben angeführten Kriterien verbesserten Apparatur erscheint es uns möglich, mit der Cinekymographie die Exaktheit der direkten elektrokymographischen Befunde zu erreichen.

Eine Konkurrenz des Verfahrens bildet jedoch die Möglichkeit, Densitogramme vom Herzrand nicht vom Kinofilm, sondern vom Fernsehsichtbild (Konservierung durch den Bildbandspeicher) zu schreiben, so daß die Cinekymographie unter Umständen eine - allerdings notwendige - Zwischenstufe darstellt.

In der vorliegenden Arbeit wird der Wert der Röntgenkinematographie beim Studium von Herzrandbewegungen untersucht und die Methode der Cinekymographie beschrieben.

In der Einführung wird eine geschichtliche Übersicht über die herkömmlichen Verfahren zum röntgenologischen Studium von Herzrandbewegungen gegeben und anschließend die eigene Fragestellung - lassen sich Elektrokymogramme vom Röntgenkinofilm schreiben ? - an Hand der Vorteile, die die Röntgenkinematographie als Basisuntersuchung bietet, begründet.

Im Hauptteil werden die technischen Gegebenheiten der Methode der Cinekymographie geschildert und beispielhaft verschiedene Cinekymogramme mitgeteilt. Die folgende Diskussion befaßt sich mit den Unzulänglichkeiten und möglichen Verbesserungen der Methode.

Als Gesamtbeurteilung der Cinekymographie läßt sich sagen : Die Vorteile der indirekten Untersuchung (die kurze Untersuchungsdauer, die relativ geringe Strahlenbelastung, die Möglichkeit, beliebig viele völlig synchrone Herzrandkurven vom Film zu schreiben) sind evident. Technische Mängel (Schwärzungsschwebungen, Verschmutzungen, Bildstandfehler vor allem) beeinträchtigen den Aussagewert der Cinekymogramme bisher erheblich. Es erscheint möglich, diese zu beseitigen und die Ergebnisse der Qualität der Elektrokymogramme anzugleichen. Vorteilhafter ist jedoch wohl die Verfolgung eines neuen Weges, nämlich Densitogramme vom (gespeicherten) Fernsehsichtbild zu schreiben.

4. Literaturverzeichnis

- 1 BALFANZ, R., H. GAJEWSKI, O. SCHOTT : Technische Bewertung der Bildqualität verschiedener Röntgenkinoverfahren. Teil I : Radiologe 3 (1963), 462 - 467, Teil II : Radiologe 4 (1964), 153 - 158.
- 2 BIRKEN, H. : Bildverstärkung und Röntgen-Fernsehen, Radiologe 5 (1964), 111 - 116
- 3 BISCHOFF, K. : Moderne Einrichtungen für die Röntgenkinematographie. Fortschr. Röntgenstr. 76 (1952), 389 - 392
- 4 BISCHOFF, K. : Die Bedeutung des Röntgenfernsehens für eine Erweiterung des Durchleuchtungseinsatzes in der medizinischen Diagnostik. Fortschr. Röntgenstr. 59 (1961), 104 - 123
- 5 BISCHOFF, K. : Der Wert der Strahlenpulsung bei den modernen Verfahren der Röntgenkinematographie. Fortschr. Röntgenstr. 97 (1962), 82 - 89
- 6 BOONE, B. R., G. F. ELLINGER, F. G. GILLICK : Elektrokymography of the Heart and Great Vessels : Principles and Application. Ann. of Intern. Med. 31, 6 (1949), 1030 - 1057
- 7 BORCKE, E., K. PUDWITZ : Zur Auswahl photographischer Materialien für die Röntgenkinematographie mit dem Bildverstärker Fortschr. Röntgenstr. 97 (1962), 90 - 94
- 8 BREDNOW, W., U. SCHAARE : Kymographische Untersuchungen des normalen Herzens. Ztschr. f. Klin. Med. 125 (1933), 480 - 492
- 9 BÜHLMAYER, K., W. SCHUSTER, H. GAJEWSKI : Neue technische Hilfsmittel für die pädiatrische Röntgendiagnostik. Röntgenpraxis 28 (1965), H. 9, 193 - 201
- 10 CANDARDJIS, G., M. BUGNION : Indications actuelles de la Radiocinématographie. Schweiz. Med. Wschr. 89 (1959), 72 - 76
- 11 CHAMBERLAIN, W. E., W. DOCK : The study of the Heart Action with the Roentgen Cinematograph. Radiology 7 (1926) 185 - 189
- 12 CHAMBERLAIN, W. E., W. DOCK : Motion of the Heart in Disease of the Mitral Valve; Cinematographic Roentgen-Ray Studies. Arch. Int. Med. 40 (1927), 521 - 531
- 13 CIGNOLINI, P. : Die Roentgenkymographie mit unterbrochenem Schlitz. Fortschr. Röntgenstr. 49 (1934), 224 - 240
- 14 CIGNOLINI, P. : Zusammenfassendes über die Anwendung der analytischen Röntgenkymographie in der Herz- und Kreislaufdiagnostik. Fortschr. Röntgenstr. 88 (1958), 328 - 346

- 15 COLTMANN, J. W. : Fluoroscopic Image brightening by Electronic Means. *Radiology* 51 (1948), 359 - 367
- 16 DELHERM, P., P. THOYER-ROZAT, P. H. CODET et FISCHGOLD : Nouvelle méthode pour enregistrer les batiments du coeur et des vaisseaux. *Bull. Acad. Méd. Paris* 108 (1932), 971 - 974
- 17 DESSAUER, F. : Über Kinematographie mit Röntgenstrahlen. *Fortschr. Röntgenstr.* 56 (1937), 126 - 131 (Beih. Deutscher Röntgenkongreß 1937).
- 18 DEUTSCH, E., E. GMACHL, H. SCHACHINGER, H. STEDEK, R. WENGER : Die Elektrokymographie. *Ztschr. f. Kreislaufforsch.* 40 (1951), 129 - 144
- 19 ENGSTRÖM, B., S. R. KJELLBERG, L. PERSSON, U. RUHDE : Some Aspects of the Use of Elektrokymography in Cardiac Investigations. *Act. Radiol.* 31 (1949) 435 - 482
- 20 FENNER, E., K. GABBERT, Th. ZIMMER : Die Lichtverstärkung von Leuchtschirmbildern in der medizinischen Diagnostik. *Fortschr. Röntgenstr.* 77 (1952) 459 - 468
- 21 GAJEWSKI, H. : Die verschiedenen Möglichkeiten der Röntgenkinematographie. *Ärzt. Forsch.* 16 (1962), 225 - 230
- 22 GEBAUER, A., LISSNER, J., O. SCHOTT : Das Röntgenfernsehen. *STUTTGART* 1965
- 23 GÖTT, P., J. ROSENTHAL : Über ein Verfahren zur Darstellung der Herzbewegung mittels Röntgenstrahlen (Röntgenkymographie). *Münchn. med. Wschr.* 38, II (1912), 2033
- 24 GROEDEL, F. M. : Die Technik der Roentgenkinematographie. *Dtsch. med. Wschr.*, I. Mitt. : (1909), I, 434 - 435; II. Mitt. : (1913), I, 270 - 271
GROEDEL, F. M., Th. GROEDEL : Die Technik der Roentgenkinematographie. *Dtsch. med. Wschr.*, III. Mitt. : (1913), I, 789 - 799
- 25 HAUBRICH, R. : Glanz und Elend der Kymographie. *Radiologe* 3 (1963), 243 - 248
- 26 HAUBRICH, R. : Über die Kymographie bei Herzmuskel- und Herzbeutelkrankheiten. *Radiologe* 3 (1963), I. Teil : 277 - 286, II. Teil : 287 - 295
- 27 HECKMANN, K. : Ein Verfahren zur Untersuchung der Pulsation des Herzens und anderer Organe mittels Röntgenstrahlen. *Klin. Wschr.* 1963, I, 13 - 16
- 28 HECKMANN, K. : Über das Verfahren der Aktinocardiographie. *Klin. Wschr.* 1936, I, 757 - 758

- 29 HECKMANN, K.: Graphische Darstellung der Helligkeitsänderungen des Leuchtschirmbildes des Herzens (Aktinocardiographie) bei Mitralfehlern. Klin. Wschr. 1936, I, 928 - 931
- 30 HECKMANN, K.: Moderne Methoden zur Untersuchung der Herz pulsation mittels Röntgenstrahlen. Erg. inn. Med. 52 (1937), 543 - 610
- 31 HECKMANN, K.: Die Lageänderungen des Herzens während der Pulsation und ihr Ausdruck im Flächenkymogramm. Fortschr. Röntgenstr. 55 (1937) 319 - 333
- 32 HECKMANN, K.: Die Stellung der Elektrokymographie unter den Registrierverfahren der Herz pulsation. Z. Kreislaufforsch. 40 (1951), 449 - 452
- 33 HECKMANN, K.: Elektrokymographie (Aktinocardiographie) und Phasenanalyse des Herzens. Fortschr. Röntgenstr. 76 (1952), 60 - 69
- 34 HECKMANN, K.: Die "rückläufigen Bewegungen" in der Systole des dilatierten Ventrikels. Fortschr. Röntgenstr. 76 (1952), 332 - 337
- 35 HECKMANN, K.: Die systolische zentrifugale Pulsation der Ventrikel und ihr Nachweis mittels der elektrokymographischen Phasenanalyse. Fortschr. Röntgenstr. 76 (1952), 337 - 343
- 36 HECKMANN, K.: Die Umformungen der Ventrikel während der Herzaktion. Fortschr. Röntgenstr. 76 (1952), 513 - 517
- 37 HECKMANN, K.: Pathologische Pulsationsformen der Ventrikel. Fortschr. Röntgenstr. 76 (1952), 518 - 523
- 38 HECKMANN, K.: Die Lage- und Stellungsänderungen des Herzens und ihr Ausdruck in Elektrokymogramm. Fortschr. Röntgenstr. 76 (1952), 744 - 754
- 39 HECKMANN, K.: Die dyskoordinierte Tätigkeit der Ventrikel. Fortschr. Röntgenstr. 77 (1952) 343 - 349
- 40 HECKMANN, K.: Kritisches zur Elektrokymographie. Fortschr. Röntgenstr. 77 (1952) 444 - 451
- 41 HECKMANN, K.: Grundsätzliche Betrachtungen zur Elektrokymographie. Fortschr. Röntgenstr. 77 (1952) 723 - 728
- 42 HECKMANN, K.: Elektrokymographie. Berlin, Göttingen Heidelberg 1959
- 43 HECKMANN, K.: Die intraventrikuläre Pulsation und ihr Ausdruck in Elektrokymogramm. Fortschr. Röntgenstr. 93 (1960), I. Teil : 419 - 429, II. Teil : 585 - 593
- 44 HECKMANN, K.: Ergebnisse der Elektrokymographie der Ventrikel und der großen Gefäße. Radiologe 3 (1963), 248 - 258

- 45 HENNY, G.C., B.R.BOONE : Elektrokymograph for Recording Heart Motion utilizing the Roentgenscope. Amer.J.Roentgenol. 54 (1945), 217 - 229
- 46 HENNY, G.C., B.R.BOONE, W.E.CHAMBERLAIN : Elektrokymograph for Recording Heart Motion, Improved Type. Amer.J. Roentgenol. 57 (1947), 409 - 416
- 47 HIRSCH, J.S.: The Recording of Cardiac Movements and Sounds by the Roentgen Ray (Kymophonoroentgenography). Radiology 22 (1934), 403 - 422
- 48 HIRSCH, J.S.: Examination of Heart by Roentgenkymographic. Method. Brit.J.Radiol. 7 (1934), 728 - 754
- 49 HJELMARE, G.: The Registration of the Movements of the Heart with Geiger-Mueller-Counters and Synchronous Electrocardiography. Act.Radiol. 27, (1946), 334 - 338
- 50 HOLM, Th.: Röntgenkinematographie, Radiologe 2 (1962), 401-407
- 51 JAKOBI, J., R.JANKER, W.SCHMITZ : Untersuchungen mit dem gleichzeitig aufgenommenen Elektrokardiogramm, Röntgenkinematogramm und Ionogramm. Klin. Wschr. 1931, II. 1264 - 1265
- 52 JAKOBI, J., R.JANKER, W.SCHMITZ : Kombination röntgenkinematographischer Untersuchungen. Dtsch. Arch. Klin. Med. 172 (1932), 493 - 496
- 53 JANKER, R.: Zur Röntgenkinematographie. Fortschr.Röntgenstr. 44 (1931) 659 - 668
- 54 JANKER, R.: Die Röntgenkinematographie, ein Forschungs-und Lehrmittel. Dtsch. Z. Chir. 240 (1933), 52 - 61
- 55 JANKER, R.: Der Stand der indirekten Röntgenkinematographie. Fortschr.Röntgenstr. 56 (1937), 131 - 132 (Beih. Deutscher Röntgenkongreß 1937)
- 56 JANKER, R.: Apparatur und Technik der Röntgenkinematographie zur Darstellung der Herzzinnenräume und großen Gefäße (Angiocardio-Kinematographie.), Fortschr.Röntgenstr. 72 (1950), 513 - 530
- 57 JANKER, R., K.EINERT : Röntgenkinematographie mit einer neu entwickelten Kamera für 70 mm breiten perforierten Film. Röntgen-Bl. 7 (1954), 51 - 58
- 58 JANKER, R.: Röntgenologische Funktionsdiagnostik mittels Serienaufnahmen und Kinematographie. Wuppertal-Elberfeld 1954
- 59 JANKER, R./ Doissparende Verfahren für die Röntgenkinematographie und die übliche Röntgenuntersuchung Umsch. Wiss. Techn. 60 (1960) 321 - 24

- 60 KALOCSAY, von, P.: Verfahren zur fortlaufenden Aufnahme
der Herztätigkeit mittels Röntgenstrahlen an beliebig gewählten
Einzelstellen des Herzens. Z.Exper.Med. 89 (1933), 626-630
- 61 KALOCSAY, von, P.: Ein Verfahren zur Untersuchung des Her-
zens und anderer Organe mittels Röntgenstrahlen.
Klin.Wschr.1936, I., 310
- 62 LIAN, C., G. MINOT : La radioélectrokymographie.
Arch. mal.coeur 39 (1946), 339-345
- 63 LISSNER, J.: Flächen- und Elektrokymographie in der Röntgeno-
logischen Diagnostik der Mediastinal- und Lungenerkrankungen.
Stuttgart 1962
- 63 a LISSNER, J.: Quantitative Elektrokymographie. Fortschr.a.d.
Geb.d.Röntgenstr. 86 (1957), 211-215
- 64 LISSNER, J., H.RIEMANN : Ergebnisse mit der Bildverstärker-
Fernsehkineamatographie. Dtsch.Röntgenkongr.1963, Stuttgart
1964, 225
- 65 LISSNER, J., A.GEBAUER : Erfahrungen mit einem neuen Bild-
verstärker - Vorteile für die Kinematographie und für Einzel-
aufnahmen vom Bildverstärker-Ausgangsschirm -. Fortschr.
Röntgenst. 45 (1964),246-248 (Beih.Deutscher Röntgenkongreß
1964)
- 66 LOMON et COMANDON : La radiocinématographie par la
photographie des écrans renforcateurs.
Bull. et Mém.Soc.de Radiol.3 (1911), 127-134
- 67 LOMON et COMANDON : La cinématographie radiologique.
J.Radiol.Electrol.8 (1924), 433-437
- 68 LUDWIG, H.: Negatives und Positives von der Herzkymographie.
Fortschr.Röntgenstr. 54 (1936), 469-476
- 69 LUISADA, A.A., F.G.FLEISCHNER, M.B.RAPPA PORT :
Fluorocardiography (Elektrokymography). Amer.J.Roentgenol.
35 (1948), 336-366
- 70 MAELE, van de, M.: Apparate für direkte Röntgenkinemato-
graphie. Fortschr.Röntgenstr. 56 (1937), 139-141 (Beih.Deut-
scher Röntgenkongreß 1937)
- 71 MARCHAL, M.M.: De l'enregistrement des phénomènes radio-
logiques invisibles et, en particulier, des pulsations des arté-
rioles pulmonaires.C inédensographie. Compt.rend.Acad.sc.
222 (1946), 973-976
- 72 MORGAN, R.H., J.F.ROACH : Clinical Potentialities of Screen
Intensifying Systems. Amer.J.Roentgenol. 62 (1949), 635-644

- 73 MORGAN, R.H., R.E. STURM : The Quantitative Elektrokymograph. *Circulation* 4 (1951), 604-612
- 74 PRINZMETAL, M., R. KENNAMER, S.M. WEINER, J.R. BISHOP : High-Speed Cineradiography and Electrocardiography *J. Amer. Med. Ass.* 161 (1956), 1229-1231
- 75 READ, J.M.: Heart-block ; komplette, compensated; report of cases. *California and West. Med.* 31 (1929), 12-17
- 76 REYNOLDS, R.J.: Some Experiments on the Production of Rapid Serial Roentgenograms from the Screen Image by means of a Cinematographic Camera. *Amer. J. Roentgenol.* 29 (1928), 469-473
- 77 REYNOLDS, R.J.: Cineradiography. *Amer. J. Roentgenol.* 33 (1935), 522-528
- 78 RUGGLES, H.E.: X-Ray Motion Pictures of the Thorax. *Radiology* 5 (1925), 444
- 79 SABAT, B.: Über ein Verfahren zur röntgenographischen Darstellung der Bewegungen innerer Organe (des Herzens, der Aorta, des Zwerchfells). *Fortschr. Röntgenstr.* 20 (1913), 42-44- (1. Arb. erschien 1911 in der poln. med. Wschr. "Lwoski Tygodnik Lekarski").
- 80 SCHERF, D., E. ZDANSKY : Über die Beeinflussung der Herzgröße durch Atropin, Adrenalin und Amylnitrit. *Wien. Arch. Inn. Med.* 26 (1929), 399-422
- 81 SCHILLING, C.: Die Anwendung der Flächenkymographie in der Diagnostik der Herzerkrankungen. *Fortschr. Röntgenstr.* 47 (1933), 241-253
- 82 SPRAWLS, P., W.M. TAYLOR, B.W. COBBS jr.: A synchronizer for electrocardiograms, phenocardiograms and cineangiographic studies. *Radiology* 82 (1964), 44-45
- 83 STUMPF, P.: Die Gestaltänderung des schlagenden Herzens im Röntgenbild. *Fortschr. Röntgenstr.* 38 (1928), 1055-1067
- 84 STUMPF, P.: Das röntgenographische Bewegungsbild und seine Anwendung (Flächenkymographie und Kymoskopie). Leipzig 1931
- 85 STUMPF, P., G.H. WEBER, H. WELTZ : Röntgenkymographische Bewegungslehre innerer Organe. Leipzig 1936
- 86 THURN, P.: Diagnose und Differentialdiagnose der Herzerkrankungen im Röntgenbild. In : Teschendorf, W.: *Lehrbuch der röntgenologischen Differentialdiagnostik.* Stuttgart 1956
- 87 WEBER, H.H.: Die Kymo-Kinokopie nach Stumpf. *Rad. clinic.* 20 (1951), 283-285

- 88 WEGELIUS, C., J. LIND : Kombinierte Registrierung der Dynamik der Herzkontur und der Herzkavitäten mit Elektrokymographie und kinematographischer Angiokardiographie. Verh. dtsch. Röntgenges. 39 (1947), 51 (Beih. Fortschr. Röntgenstr. 86, 1957)
- 89 WEGELIUS, C., J. LIND : Evaluation of cardiac function by angiocardiology and cineradiography. Modern Trends Diagn. Radiol. 3rd ser., London 1960
- 90 ZIMMER, E.A.: Von der Röntgendurchleuchtung zur Bildverstärker-Fernsehkette. Schweiz. Med. Wschr. 92 (1962), 1381-1388

Lebenslauf

Geboren wurde ich am 10. Januar 1938 in Gießen/Lahn. Ich bin einziges Kind des Arztes Dr. med. Karl Nern und seiner Ehefrau Else, geb. Fischer.

Aufgewachsen bin ich in Groß-Felda/Oberhessen, wo mein Vater eine ausgedehnte Landpraxis betrieb. Dort besuchte ich vom Herbst 1944 bis zum Frühjahr 1949 die Volksschule. 1949 trat ich in das Realgymnasium in Alsfeld ein. Im gleichen Jahr starb meine Mutter, mein Vater war 1945 an einer Sepsis, die er sich wohl bei seiner ärztlichen Tätigkeit zugezogen hatte, verstorben. Ich blieb weiterhin in Groß-Felda bei dem kinderlos verheirateten ehemaligen Chauffeur meines Vaters. Im Frühjahr 1959 bestand ich das Abitur. Danach begann ich das Studium der Medizin an der Philipps-Universität Marburg/Lahn, wechselte 1959 zur Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt/Main über und beendete am 11. Januar 1965 an der Ludwig Maximilian-Universität München mein Studium mit der Ärztlichen Prüfung.

Anschließend war ich als Medizinalassistent in der Klinik für Strahlentherapie und Nuklearmedizin der Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt/Main bei Herrn Prof. Dr. Lorenz tätig, danach vom 1.2.1966 bis zum 30.4.1966, auf der Inneren Abteilung des Stadtkrankenhauses Hanau bei Herrn Prof. Dr. Schmidt und vom 15.5.1966 bis zum 15.9.1966 in der Frauenklinik der Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt/Main bei Herrn Prof. Dr. Kaeser. Seit dem 1.10.1966 arbeite ich als Medizinalassistent in der Chirurgischen Universitätsklinik Frankfurt/Main bei Herrn Prof. Dr. Geißendörfer.

Verzeichnis meiner akademischen Lehrer

Während meines Studiums in Marburg :

Prof. Dr. rer. nat. Theodor Bücher
Prof. Dr. phil. Karl Dimroth
Prof. Dr. med. Herbert Hensel
Prof. Dr. phil. Erwin Kessel
Prof. Dr. phil. Carl Mahr
Prof. Dr. phil. Otto Mattes
Prof. Dr. med. Klaus Niessing
Prof. Dr. med. Gerhard Petry
Prof. Dr. phil. André Pison
Prof. Dr. phil. Friedrich Seidel
Prof. Dr. -Ing. Wilhelm Walcher
Privatdozent Dr. med. Gerhard Wendt

Während meines Studiums in Frankfurt/Main :

Prof. Dr. med. Walter Amelung
Prof. Dr. med. Walter Artelt
Prof. Dr. med. Hans Betke
Privatdozent Dr. med. Herbert Kraft Brehm
Prof. Dr. med. Joachim Frey
Prof. Dr. med. Hans Frick
Prof. Dr. med. Rudolf Geißendörfer
Prof. Dr. med. Kurt Greven
Prof. Dr. med. Erich Heinz
Prof. Dr. med. Luz Heller
Privatdozent Dr. med. Werner Hellriegel
Prof. Dr. med. Kurt Herzberg
Prof. Dr. med. Heinrich Hildebrand
Prof. Dr. med. Ferdinand Hoff
Prof. Dr. med. Peter Holtz
Privatdozent Dr. med. Hans Joachim Hübener
Prof. Dr. med. Hubert Jantz
Prof. Dr. med. Jörg Jürgens
Prof. Dr. med. Gerhard Kahlau
Privatdozent Dr. med. Benno Kummer
Privatdozent Dr. med. Erich Landes
Prof. Dr. med. Heinrich Lapp
Privatdozent Dr. med. Helmut Martin

Privatdozentin Dr.med. Gisela Neuroth-Schmitt
Prof. Dr.med. Rolf Ortmann
Privatdozent Dr.med. Karl Ludwig Radenbach
Prof. Dr.phil.nat., Dr.med.h.c., Dr.med.h.c. Boris Rajewsky
Prof. Dr.med. Ladislaus Róka
Privatdozent Dr.med. Gerhard Rossberg
Prof. Dr.med. Wolfgang Rotter
Prof. Dr.med. Bernhard de Rudder
Privatdozent Dr.med. Otto Schmith
Privatdozent Dr.med. Rolf Schneider
Prof. Dr.med. Werner Schrade
Prof. Dr.med. Werner Siede
Prof. Dr.med. Dietrich Stark
Prof. Dr.med. Franz Strnad
Prof. Dr.med. Rudolf Thiel
Prof. Dr.med. Edgar Ungeheuer
Privatdozent Dr.med. Wolfgang Weber
Prof. Dr.med. Karl Wezler
Privatdozent Dr.med. Ernst Wiedemann
Privatdozent Dr.med. Rudolf Karl Zahn
Prof. Dr.med. Jörg Zutt

Während meines Studiums in München :

Prof. Dr.med. Werner Bickenbach
Prof. Dr.med. Gustav Bodechtel
Prof. Dr.med. Josef Breitner
Privatdozent Dr.med. Eberhard Buchborn
Privatdozent Dr.med. Hans Burger
Prof. Dr.med. Walter Büngeler
Prof. Dr.med. Gerhard Döring
Prof. Dr.med. Walter Dontenwill
Privatdozent Dr.med. Friedrich Ekert
Prof. Dr.phil.nat., Dr.med. Hermann Eyer
Prof. Dr.med. Karl Peter Eymer
Privatdozent Dr.med. Ewald Frick
Privatdozent Dr.med. Axel Georgii
Privatdozent Dr.med. Werner Grill
Prof. Dr.med. Walter Hartenbach
Prof. Dr.med. Albert Herrlich
Prof. Dr.med. Alexander Herrmann

Prof. Dr.med. Hermann Hilber
Prof. Dr.med. Erwin Hiller
Prof. Dr.med., Dr.med.dent. Josef Heiss
Privatdozent Dr.med. Johann Jungwirth
Privatdozent Dr.med. Rudolf Kaiser
Prof. Dr.med. Kurt Kolle
Privatdozent Dr.med. Heinrich Adolf Krone
Prof. Dr.med. Hans Joachim Kühle
Prof. Dr.med. Max Lange
Prof. Dr.med. Titus von Lanz
Prof. Dr.med., Prof.h.c. Wolfgang Laves
Privatdozent Dr.med. Hans-Joachim Löblich
Prof. Dr.med. Alfred Marchionini
Prof. Dr.med. Dietrich Michel
Prof. Dr.med. Herbert Nowy
Prof. Dr.med. Hans Dietrich Pache
Prof. Dr.med. Melchior Reiter
Prof. Dr.med. Helmut Röckl
Prof. Dr.med. Wilhelm Rohrschneider
Prof. Dr.med. Carl Georg Schirren
Prof. Dr.med. Wolfgang Spann
Prof. Dr.med. Walter Stich
Privatdozent Dr.med. Walter Trummert
Prof. Dr.med. Kurt Ungerecht
Privatdozent Dr.med. Hans Wagner
Prof. Dr.med. Gerhard Weber
Prof. Dr.med. Alfred Wiskott
Prof. Dr.med. Rudolf Zenker
Prof. Dr.med. Nepomuk Zöllner

Ehrenwörtliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, daß ich die der medizinischen Fakultät Frankfurt am Main zur Promotionsprüfung eingereichte Arbeit mit dem Titel

Der Wert der Röntgenkinematographie beim Studium von Herzrandbewegungen (Cinekymographie)
in der Klinik für Strahlentherapie und Nuklearmedizin der Universität Frankfurt am Main unter Leitung von Prof. Dr. med. Josef Lissner mit Unterstützung durch Prof. Dr. med. Josef Lissner und die Siemens Reiniger Werke AG, Erlangen ohne sonstige Hilfe selbst durchgeführt und bei der Abfassung der Arbeit keine anderen als die in der Dissertation angeführten Hilfsmittel benutzt habe.

Ich habe bisher an keiner in- und ausländischen Fakultät ein Gesuch um Zulassung zur Promotion eingereicht, noch die vorliegende Arbeit als Dissertation vorgelegt.

Frankfurt am Main, den 1.10.1966

Rolf Dieter Nern

